

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт космических и информационных технологий
Базовая кафедра геоинформационных систем

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ В.И. Харук

« _____ » _____ 2018 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Использование данных дистанционного зондирования для
картирования повреждённых сибирским шелкопрядом лесов Центральной
Сибири

09.04.01 Информатика и вычислительная техника

09.04.01.07 Дистанционное зондирование и ГИС-технологии в мониторинге
природных и антропогенных экосистем

Научный руководитель	_____	_____	Е.В. Федотова
Выпускник	_____	_____	Д.И. Сережкин
Рецензент	_____	_____	С.Т. Им
Нормоконтролер	_____	_____	Е.В. Федотова

Красноярск 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Обзор литературы по применению данных дистанционного зондирования Земли для выделения поврежденных сибирским шелкопрядом лесов	6
1.1 Обзор существующих спутниковых систем для выявления повреждений	6
1.2 Методы обработки снимков для выделения поврежденных сибирским шелкопрядом лесов	9
1.2.1 Анализ пространственной приуроченности очагов повреждения таежных лесов сибирским шелкопрядом по данным мелкомасштабного дистанционного зондирования	9
1.2.2 Съемка Spot-Vegetation в анализе динамики повреждения горно-таежных лесов сибирским шелкопрядом	11
1.3 Анализ предпосылок начала вспышки сибирского шелкопряда	13
2 Исходные данные и программное обеспечение.....	15
2.1 Спутник дистанционного зондирования Земли Landsat 8 OLI	15
2.2 Источники данных дистанционного зондирования	16
2.3 Программное обеспечение ArcGIS	16
3 Методы анализа космических снимков	18
3.1 Предварительная обработка снимков	18
3.1.1 Геометрическая коррекция спутниковых изображений	18
3.1.2 Радиометрическая калибровка снимков	20
3.1.3 Радиометрическая коррекция влияния атмосферы	20
3.2 Тематическая обработка снимков	21
3.2.1 Цветовые преобразования.....	21
3.2.2 Индексные изображения	23
3.2.3 Анализ главных компонент	24
3.2.3 Метод спектрального разделения	26

3.2.4 Классификации.....	27
4 Анализ снимков Landsat 8 OLI для дешифрирования повреждений лесного покрова сибирским шелкопрядом	30
4.1 Предварительная обработка снимков	30
4.2 Тематическая обработка снимков	31
4.2 Использование NDVI для выделения поврежденных лесов	32
5 Анализ результатов обработки снимков.....	37
5.1 Динамика площадей поврежденных лесов.....	40
Заключение	41
Список используемых источников.....	42

ВВЕДЕНИЕ

Данные дистанционного зондирования с искусственных спутников Земли находят свое применение в изучение лесов России с 70-х годов прошлого века. Космические снимки используются для обнаружения и оценки последствий пожаров, контроля вырубок, выявления промышленных загрязнений, мониторинга массового размножения насекомых-вредителей и решения многих других хозяйственных и экологических задач. Однако эффективное использование спутниковых изображений невозможно без соответствующих методов и алгоритмов их обработки [1].

По мере развития спутниковых систем, когда на смену фотографическим приборам дистанционного зондирования пришли многоспектральные сканеры, значительно расширились свойства принимаемой информации. Современные спутниковые системы получают снимки с высокой оперативностью, ежедневной периодичностью и регулярным потоком данных, что открывает новые возможности для усовершенствования существующих методов и алгоритмов обработки космических снимков [1].

В середине 1990-х годов от сибирского шелкопряда пострадали обширные лесные насаждения в Западной и Восточной Сибири, а также на Дальнем Востоке. Современный ареал сибирского шелкопряда охватывает всю азиатскую часть России, Казахстан, Северную часть Китая и Монголии, Корею. За последние годы он распространился по северной и центральной частям европейской России со скоростью 20-50 км в год. Хвойные леса преобладают по всей Центральной Европе, а в Польше они составляют около 80 % от всей площади лесов. В случае массового распространения этот вредитель может нанести серьезный урон лесам [5].

Площади ежегодно действующих в России очагов насекомых вредителей и болезней составляют в среднем 2,5-3,0 млн. га. Экстремальным в этом отношении был 2001 г., когда общая их площадь превысила 10 млн. га. Почти 70 % этой площади приходится на сибирского шелкопряда [5].

Современные ГИС-технологии позволяют создавать тематические карты повреждения лесного покрова сибирским шелкопрядом, а также прогнозировать распространение вспышек. Оперативно полученные данные сотрудниками лесопатологами позволяют проводить мероприятия для спасения леса.

В ходе работы были поставлены следующие задачи:

- проанализировать материалы и методы обработки данных дистанционного зондирования Земли для детектирования повреждений лесного покрова сибирским шелкопрядом;
- получить разновременные данные прибора Landsat 8 OLI и собрать полученные данные в мультиспектральное изображение для дальнейшего анализа;
- применить метод дешифрирования с использованием вегетационный индекс нормированной разности NDVI;
- создание тематической карты повреждённого лесного покрова сибирским шелкопрядом;
- использование методов ГИС-технологий для многоаспектной оценки последствий вспышки массового размножения сибирского шелкопряда.

1 Обзор литературы по применению данных дистанционного зондирования Земли для выделения поврежденных сибирским шелкопрядом лесов

1.1 Обзор существующих спутниковых систем для выявления повреждений

Для выявления крупномасштабных усыханий лесов, вызванных массовым размножением насекомых-вредителей, могут использоваться данные спутниковых систем глобального обзора NOAA- AVHRR и SPOT-Vegetation с низким пространственным разрешением (1-4 км) [12,13]. Их преимущество в широкой полосе обзора, возможности ежесуточного наблюдения поверхности Земли и высокой доступности (свободном распространении). Эти данные имеют высокую периодичность наблюдений и способны ежесуточно обеспечивать глобальное покрытие местности.

В основном они применяются при мониторинге лесов на федеральном уровне для выявления очагов размножения насекомых-вредителей, распространяющихся на десятки или сотни тысяч гектар. Ввиду относительно низкого пространственного разрешения их использование может приводить к значительным погрешностям в оценках площадей, поврежденных насекомыми лесов.

Радиометр AVHRR установлен на всех полярно-орбитальных метеорологических спутниках NOAA, начиная с Tiros-N в 1978. Прибор обеспечивает проведение съемки Земли в пяти спектральных каналах с разрешением 1,1 км при наблюдении в надир и шириной полосы обзора около 3000 км. Так как одновременно на орбите функционируют несколько спутников NOAA, периодичность съемки любой территории составляет несколько часов.

Прибор Vegetation установлен на борту французского спутника SPOT-4 и SPOT-5 и ведет съемку в четырех спектральных каналах с разрешением при

наблюдении в надир 1,15 км и полосой охвата 2200 км. Периодичность съемки составляет 1 день. Получение данных радиометром Vegetation осуществляется, начиная с марта 1998 года [17].

Данные более высокого пространственного разрешения приборов Landsat- TM/ETM+ и SPOT-HRG (10-30 метров) позволяют добиваться более точных оценок и могут быть эффективно использованы для обнаружения лесов, поврежденных насекомыми, на локальном уровне [14,15,16]. Однако ограниченная доступность данных для регулярного покрытия больших территорий и спектральная изменчивость лесного покрова в течение вегетационного сезона делает затруднительной применение однотипных алгоритмов автоматической обработки спутниковых изображений и возможность получения результатов на уровень крупных регионов. Данные высокого разрешения могут использоваться для выборочной оценки площадей повреждений и степени дефолиации с целью уточнения оценок, полученных по данным съемки низкого и среднего пространственного разрешения.

Наиболее широко используемой системой, ведущей съемку с высоким разрешением, является серия американских спутников Landsat, практическое использование которой осуществляется с 1972 года. За это время было запущено несколько спутников, из которых Landsat 1-4 в настоящее время не функционируют, а Landsat-5 и -7 с некоторыми ограничениями продолжают использоваться. На этих спутниках последовательно устанавливались приборы MSS (Landsat-1, 2, 3, 4, 5), TM (Landsat-4, 5) и ETM+ (Landsat-7). Наиболее современный прибор ETM+ имеет восемь каналов съемки в диапазоне 0,4-13 мкм с разрешением 15-60 м и полосой охвата 185 км. Периодичность съемки составляет 16 дней.

Спутниковая система SPOT-4 помимо прибора Vegetation оснащена двумя усовершенствованными оптико-электронными камерами HRVIR, проводящими съемку с разрешением 20 м в пяти спектральных каналах, включая один панхроматический. На спутнике SPOT-5, запущенном в 2002 г., для прибора HRVIR (новое название HRG) улучшены параметры

пространственного разрешения до 10 м при многозональной съемке и до 5 м при панхроматической [18].

Более информативными спутниковыми данными для регулярного мониторинга лесов на региональном уровне в течение вегетационного сезона с целью выявления очагов размножения насекомых на начальной стадии по ряду технических характеристик может обеспечить система дистанционного зондирования Terra/Aqua-MODIS. Радиометр MODIS обладает уникальными возможностями для изучения крупномасштабных процессов в лесах, связанных с массовым размножением насекомых-вредителей. Доступность, свободное распространение, возможность ежедневно наблюдать одну и ту же территорию за счет широкой полосы обзора, большое количество спектральных каналов и три пространственных разрешения от 250 метров до 1 км позволяют одним спутником охватить задачи и регионального и национального масштаба.

Сканирующий спектрометрический радиометр среднего разрешения MODIS размещен на борту двух американских спутников, Terra и Aqua, запущенных в 1999 и 2002 году соответственно. MODIS обеспечивает проведение съемки в 36 спектральных каналах в диапазоне 0,4-14,4 мкм. Съемка в двух зонах (0.62-0.67 и 0.84-0.87 мкм) ведется с разрешением 250 м, в пяти зонах видимой и ближней ИК областей с разрешением 500 м, а в остальных зонах спектра - 1000 м. Ширина полосы обзора составляет 2330 км [6].

Данные детального разрешения (1-5м) для мониторинга растительности на региональном и национальном уровнях практически не используются. Такие данные невозможно получать с достаточно высокой периодичностью при одновременном обеспечении охвата больших территорий. Кроме того, важным фактором, сдерживающим широкое и регулярное использование спутниковой информации сверхвысокого разрешения, является ее высокая стоимость.

1.2 Методы обработки снимков для выделения поврежденных сибирским шелкопрядом лесов

1.2.1 Анализ пространственной приуроченности очагов повреждения таежных лесов сибирским шелкопрядом по данным мелкомасштабного дистанционного зондирования

Практический интерес представляет исследование возможностей применения данных мелкомасштабной съемки для целей мониторинга вспышек массового размножения насекомых-вредителей, так как материалы на территорию очага можно получать не реже одного раза в сутки. Ограничение в данном случае связано с пространственным разрешением этой съемки: массивы поврежденных насаждений должны иметь площадь не менее сотни гектаров [7].

Цель работы состояла в том, чтобы по материалам мелкомасштабных съемок NOAA-AVHRR и MODIS:

- выделить леса, поврежденные в 1994-1996 гг. сибирским шелкопрядом в Нижнем Приангарье;
- используя цифровую модель рельефа, определить особенности расположения таких лесов, по элементам рельефа (высота над уровнем моря, экспозиция и крутизна склонов) [7].

Приангарский район Средне-Сибирской равнинной лесорастительной области характеризуется южно-таежным ландшафтным комплексом типов леса. Рельеф местности представляет собой холмистое плато. Климат района континентальный. Среднегодовое количество осадков около 400-450 мм. Среднегодовая температура $+2,6^{\circ}\text{C}$ с абсолютным минимумом в декабре -54°C и абсолютным максимумом $+36^{\circ}\text{C}$ в июле. Продолжительность вегетационного периода 100 дней. Леса покрывают 95% территории, их породный состав представлен всеми основными видами: пихта, кедр, ель, сосна, лиственница, осина, береза [7].

Три снимка NOAA AVHRR использовались для изучения динамики повреждения лесов в течение одного вегетационного периода: 1 - 07.06.1995 г., 2 - 30.06.1995 г., 3 - 16.08.1995г. Для картирования всех пострадавших от шелкопряда лесов использованы два типа продуктов MODIS. Во-первых, это 16-дневный композит (MODIS13) 12-28 августа 2000 г. Изображение содержат 6 слоев: вегетационный индекс нормированной разности NDVI, улучшенный вегетационный индекс EVI, красный (620-670 нм), ближний инфракрасный (841-876 нм), синий (459-479 нм) и средний инфракрасный (1628-1652 нм) каналы датчика. Второй вид продукта - также 16-дневный композит 28 июля - 12 августа 2002 г., изображение имеет слои: NDVI, красный, ближний ИК и средний ИК каналы. Наземное разрешение снимков 500 м [7].

Для классификации данных и анализа пространственной приуроченности поврежденных насаждений применялась карта, составленная по материалам наземных обследований и данным дешифрирования аэрофотоснимков. Использовалась цифровая модель рельефа в формате SRTM, полученная по данным микроволновой съемки с космического корабля Shuttle (2000 г). Используемый материал представлен изображениями, охватывающими территорию размером по $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ и имеет исходное пространственное разрешение 90 м, точность определения высоты составляет около 20 м [7].

На исследуемой территории высота местности над уровнем моря составляет от 76 до 650 м. Поврежденные леса расположены на высотах от 80 до 450 м, причем основная их часть - на высотах от 100 до 400 м. Остальная территория не рассматривается в связи с небольшой относительной площадью. Высоты определяются с интервалом 10 м [7].

Выделение поврежденных насаждений и картирование по снимкам состояло из нескольких шагов. В результате получены три картосхемы части поврежденной шелкопрядом территории в течение лета 1995 года по данным AVHRR. На основе снимков MODIS получена картосхема всей территории погибших насаждений [7].

Совместный анализ результатов классификации изображений и модели рельефа позволил получить характеристики распределения поврежденных и погибших насаждений по элементам рельефа. Поскольку разные категории элементов рельефа (т.е. территории с определенными экспозициями, крутизной и высотой) на территории представлены неравномерно, то применялась процедура нормирования данных по площади. При этом площади поврежденных лесов для данной категории параметров рельефа (интервалы высоты, крутизны или экспозиции) были поделены на площадь с такими параметрами в пределах поврежденной территории темнохвойных насаждений до начала вспышки (исходная «кормовая база»). Площадь темнохвойных лесов до вспышки сибирского шелкопряда определялась как сумма погибших за время вспышки насаждений и темнохвойных насаждений, оставшихся после вспышки и выделенных в результате классификации снимка MODIS [7].

Через 5-6 лет после вспышки сибирского шелкопряда распределение поврежденных насаждений изменилось. Часть поврежденных насаждений восстановилась, территории сплошных повреждений обозначились более отчетливо. На благоприятных для развития очагов сибирского шелкопряда территориях погибла половина пихтовых лесов [7].

1.2.2 Съемка Spot-Vegetation в анализе динамики повреждения горно-таежных лесов сибирским шелкопрядом

В работе [14] на основе материалов съемки SPOT-Vegetation проведен анализ пространственно-временной динамики вспышки массового размножения сибирского шелкопряда, произошедшей в 1998-2003 гг. в горно-таежных лесах Восточного Саяна. Установлена взаимосвязь динамики поврежденных древостоев с элементами рельефа (высотой над у.м., азимутом, крутизной склона). Объект исследования расположен в Восточносаянской горной лесорастительной провинции кедровых лесов.

В исследовании использованы следующие материалы:

- композиты снимков SPOT-Vegetation в четырех спектральных диапазонах (430-470 нм, 610-680 нм, 780-790 нм, 1580-1750 нм) с пространственным разрешением 1 км и полосой обзора 2250 км;
- топокарты (М 1: 200000) и цифровая модель рельефа местности (ЦМР): 90 м разрешения, точность по вертикали ± 10 м в формате SRTM;
- материалы лесоустройства (1996 г.) и схема лесопатологического состояния (обследование 2004 г.).

Основные этапы обработки снимков включали:

- предобработку;
- анализ динамики NDVI;
- анализ динамики площадей поврежденных древостоев;
- анализ взаимосвязи повреждений и элементов рельефа [14].

Вывод по проделанной работе следующий. В мониторинге шелкопряда особо значимо выявление начальных стадий повреждения, что позволяет минимизировать ущерб лесам. Использование в анализе 3D модели рельефа высокого разрешения позволило установить, что начальная фаза вспышки реализуется на элементах рельефа с высотой 420-500 м малой крутизны (крутизна склонов $< 4^\circ$ с максимум распределения, соответствующем -0. В дальнейшем максимальный прирост площади повреждений соответствует склонам южной и юго-западной экспозиций, происходит освоение более крутых склонов и расширение осваиваемого шелкопрядом высотного диапазона до -400-540 м. При этом наблюдается эффект "расщепления" распределения повреждений по высоте. Это можно объяснить истощением кормовой базы шелкопряда в зоне оптимума и освоением прилегающих территорий [14].

1.3 Анализ предпосылок начала вспышки сибирского шелкопряда

Сибирский шелкопряд по своему воздействию на лесные экосистемы особо выделяется в ряду хвое-листогрызущих вредителей. Прежде всего масштабом воздействия и широтой своего распространения. Этот вид занимает неоспоримое первое место по силе своего воздействия на бореальные леса [5].

Вспышки массового размножения особенно разрушительны в темнохвойной тайге с преобладанием пихты и кедра. Вспышки наблюдаются с периодичностью 15-25 лет. Таким образом на территории Красноярского края в период с 1878 по 2004 гг. вспышки наблюдались 10 раз [7].

Наиболее простой метод прогнозирования возможной вспышки численности сибирского шелкопряда был предложен Б.Ф. Флеровым в 1957 г. [9]. В основе прогноза лежит утверждение, что отклонение дефицита влажности в сторону увеличения от средней многолетней величины на 15 % и более в течение 2-3 лет подряд является сигналом возможного роста численности всех первичных вредителей. А.С. Рожков [8] предложил определять состояние очагов по среднему количеству яиц и гусениц на одно дерево.

Прогнозировать вспышки вредителя можно по количеству осадков за год и сумме температур за дни с устойчивой температурой выше 10 градусов тепла. Ареал сибирского шелкопряда расположен в зоне с суммами температур воздуха от 1200 до 2200 градусов за период с устойчивой температурой выше 10 градусов. В горах Южной Сибири в периоды вспышек он расширяется в районы, в которых период со среднесуточной температурой воздуха выше 10 градусов продолжается всего 80 и даже 70 дней. На севере вредитель не распространяется на территории с продолжительностью указанного периода менее 80-85 дней [12].

Ю.П. Кондаков [10] считает, что возможен долгосрочный прогноз численности сибирского шелкопряда с использованием комплексного

показателя засушливости, наивысшего годового уровня воды в реках и сумм гидротермических коэффициентов июня и июля.

В работе [10] для мониторинга изначально предложено проводить лесозащитное районирование территории субъектов РФ. Разработанная на основе данного подхода карта позволяет оценить площадь лесов, потенциально подверженных дефолиации. В среднем по югу Приенисейской Сибири мониторингом должно быть охвачено не более 17 % лесного фонда. В каждом из выделенных районов предложена оптимальная система мониторинга с учетом специфики экологии вредителя.

2 Исходные данные и программное обеспечение

2.1 Спутник дистанционного зондирования Земли Landsat 8 OLI

Landsat 8 – американский спутник дистанционного зондирования Земли, созданный совместно Национальным Агентством по воздухоплаванию и исследованию космического пространства США (National Aeronautics and Space Administration, NASA) и Геологической службы США (U.S. Geological Survey, USGS). Выведен на орбиту 11 февраля 2013 года [4].

Спутник Landsat 8 получает изображения в видимом диапазоне волн, в ближнем ИК и в дальнем ИК диапазонах, с пространственным разрешением снимков от 15 до 100 метров. Оснащен двумя сенсорами OLI и TIRS, которые имеют более высокое отношение сигнал-шум и позволяют улучшить радиометрическое разрешение данных до 12 бит.

В спектрорадиометре OLI используются длинные линейные массивы фотодатчиков, снимающие сразу всю ширину поля зрения спутника – 185 км. OLI работает в 9 спектральных диапазонах [4]. В таблице 1 приведены спектральные диапазоны длин волн OLI и TIRS (Thermal Infrared Sensor).

Таблица 1 – Спектральные диапазоны длин волн Landsat 8 OLI

Слои	Длины волн, мкм	Пространственное разрешение, м
Слой 2 - Синий	0.45 - 0.51	30
Слой 3 - Зеленый	0.53 - 0.59	30
Слой 4 - Красный	0.64 - 0.67	30
Слой 5 – Ближний ИК	0.85 - 0.88	30
Слой 6 – Средний ИК	1.57 - 1.65	30
Слой 7 – Средний ИК	2.11 - 2.29	30

2.2 Источники данных дистанционного зондирования

Данные снимков Landsat 8 OLI были импортированы с сайта Геологической службы США - <https://glovis.usgs.gov/>.

Для выполнения работы использовался сенсор OLI. Импортированные данные представляются в виде архива, в котором находятся 11 слоёв данных в формате GeoTIFF, файл корректировки MTL.

В работе использовалась разновременная съемка Landsat 8 OLI в период с 2015 по 2017 год.

2.3 Программное обеспечение ArcGIS

Программный комплекс ArcGIS for Desktop включает полный набор приложений, которые поддерживают решение геоинформационных задач, в том числе картографирование, сбор данных, их анализ, управление геоданными и изображениями, а также совместный доступ к пространственной информации [6].

Платформа ArcGIS for Desktop используется для управления рабочими процессами и проектами ГИС, для построения карт, моделей и приложений. Кроме того, она является отправной точкой и базовым фундаментом для развертывания ГИС в организациях и в веб-среде. Она используется для публикации и обмена географической информацией с другими пользователями. Пользователи версии Desktop могут:

- обмениваться информацией с другими профессиональными пользователями настольной версии путем обеспечения доступа к пакетам карт и другим ГИС-пакетам;
- обмениваться с другими пользователями информацией при помощи мобильных, интернет и пользовательских систем путем публикации карт и соответствующей географических информационных сервисов с использованием ArcGIS for Server и ArcGIS Online [6].

Приложением для пакетного выполнения различных ГИС-операций над данными в ArcGIS является ArcToolBox. Пакетная обработка подразумевает, что обработка данных происходит большими массивами без интерактивной выборки отдельных объектов. Именно поэтому эта программа не имеет графического интерфейса для просмотра карт.

Приложение ArcToolBox состоит из одного главного окна, в котором в виде «дерева» структурированы все команды для работы с данными. Важнейшим достоинством всех приложений линейки ArcGIS Desktop является то, что они построены по единой объектно-ориентированной модели ActiveX, доступной для расширения сторонним производителям. Сама фирма-производитель ArcGIS компании ENVI предлагает несколько важнейших модулей, существенно расширяющих функционал базовой ГИС:

- ArcGIS Spatial Analyst – это дополнительный модуль предлагает мощные средства пространственного анализа растровых данных. С помощью этого модуля можно создавать новые растровые документы, редактировать их, а также выполнять анализ [7];

- ArcGIS 3D Analyst – это дополнительный модуль предлагает мощные средства анализа, визуализации и анализа поверхностей в виде регулярных (растровых) и нерегулярных (триангуляционных) моделей данных [7];

- ArcGIS Geostatistical Analyst – это специализированный модуль для выполнения геостатистического анализа. Он позволяет строить непрерывные (растровые) поверхности на основе измерений, проведенных в отдельных точках растра [7].

- Image Analysis для ArcGIS – этот модуль предназначен для обработки данных дистанционного зондирования [7].

3 Методы анализа космических снимков

Обработка данных ДЗЗ (image processing) - процесс выполнения операций над аэрокосмическими снимками, включающий их коррекцию, преобразование и улучшение, дешифрирование, визуализацию.

Основные этапы обработки данных космических снимков:

- предварительная обработка;
- тематическая обработка.

3.1 Предварительная обработка снимков

Предварительная обработка — это коррекция и улучшение спутниковых изображений.

Виды предварительной обработки:

- геометрическая коррекция спутниковых изображений;
- радиометрическая калибровка снимков;
- радиометрическая коррекция влияния атмосферы.

3.1.1 Геометрическая коррекция спутниковых изображений

Геометрическая коррекция включает в себя:

- устранение на изображении геометрических искажений;
- географическую привязку.

Существует несколько причин геометрических искажений, однако эти причины действуют совместно. Кроме того, следует отметить, что для разных типов космических снимков комбинация этих причин различна.

Геометрические искажения:

- искажение формы объектов. Прямая линия на местности будет кривой на снимке, квадрат прямоугольником и т.д. Этим типом искажения можно

пренебречь, если угол обзора сканера невелик (MSS - Landsat, угол обзора примерно $5,8^\circ$);

- искажение масштаба. Для снимков, сделанных оптико-механическим сканером (MODIS, AVHRR, ETM и MSS - Landsat, Aster (TIR)) - масштаб при удалении от центральной линии снимка становится мельче. То есть, если взять два пиксела снимка: один из центральной области снимка, а второй из боковой, то пиксел из боковой области будет содержать большую площадь Земли, хотя размер их одинаков. Для в (спутники SPOT, IRS, Ikonos, датчик Aster (VNIR, SVIR)) масштаб при удалении от центральной линии снимка не изменяется.

- неровности рельефа вызывают те же искажения, что и кривизна поверхности, земли, но задача устранения их сложнее, по причине того, что формы рельефа сложнее, чем форма Земли, которая близка к сфере. Поскольку космические снимки делают с большой высоты, то влияние форм рельефа незначительно, поэтому данный тип искажений учитывают лишь для горных областей.

- вращение Земли. Поскольку сканирование Земли из космоса происходит не мгновенно, как фотосъемка, то вращение Земли (за 1 мин Земля поворачивается на 0.25) вызывает изменение условий съемки в процессе сканирования одной сцены.

- движение космического аппарата в процессе формирования изображения. На качество и свойства снимков влияет форма и высота орбиты спутника. Например, круговая орбита обеспечивает одинаковую высоту съемки земной поверхности, а, следовательно, для одной и той же аппаратуры - одинаковый охват и разрешение снимков.

3.1.2 Радиометрическая калибровка снимков

Снимки, первоначально получаемые со спутников, записаны в виде так называемых "сырых значений" яркости DN (Digital Number). Данные в таком формате нельзя адекватно сопоставить с данными других съемок.

Задача радиометрической калибровки заключается в приведении этих значений в физические единицы.

Формула для калибровки многозональных снимков в оптическом диапазоне:

$$B^* = K * DN + C \quad (1)$$

где B^* — это энергетическая яркости для спектральной зоны;

DN - сырые значения яркости;

K - калибровочный коэффициент;

C - калибровочная константа, соответствующая минимальной величине регистрируемой яркости.

3.1.3 Радиометрическая коррекция влияния атмосферы

При прохождении через атмосферу электромагнитные волны поглощаются и рассеиваются, причиной поглощения и рассеивания являются: озон, водяной пар, углекислый газ, кислород, метан, пыль, дым.

Облачность так же может являться помехой, при съемке в оптическом диапазоне.

Способы атмосферной коррекции:

- облака и туманы хорошо видно на фоне воды, так как в красном и ИК участках спектра поверхность воды по своим оптическим характеристикам близка к абсолютно черному телу. Поэтому содержание в атмосфере водяного пара и аэрозолей (дыма) можно оценить по снимкам, включающим участки морей и океанов;

- существуют физические методы построения моделей состояния атмосферы с учетом типов рассеяния в атмосфере, времени года, метеорологических данных. Для уточнения таких моделей используют наземное измерение отражательной способности объектов во время полета спутника.

3.2 Тематическая обработка снимков

Тематическая обработка космических снимков – это процесс дешифрирования или распознавания объектов и явлений на космических снимках.

Способы тематической обработки:

- цветовые преобразования;
- индексные изображения;
- анализ главных компонент;
- метод спектрального разделение;
- классификации.

3.2.1 Цветовые преобразования

Цветное изображение на мониторе компьютера получается путем сложения трех основных цветов. За основные приняты цвета, соответствующие монохроматическим излучениям с длиной волны 0.7 мкм (красный - R); 0.5461 мкм (зеленый - G); 0.4358 (синий - B). Такое представление цвета называют цветовой моделью RGB.

В файле цветного изображения, для каждого пиксела записано три числа, которые означают интенсивности трех основных цветов, диапазон значений от 0 до 255.

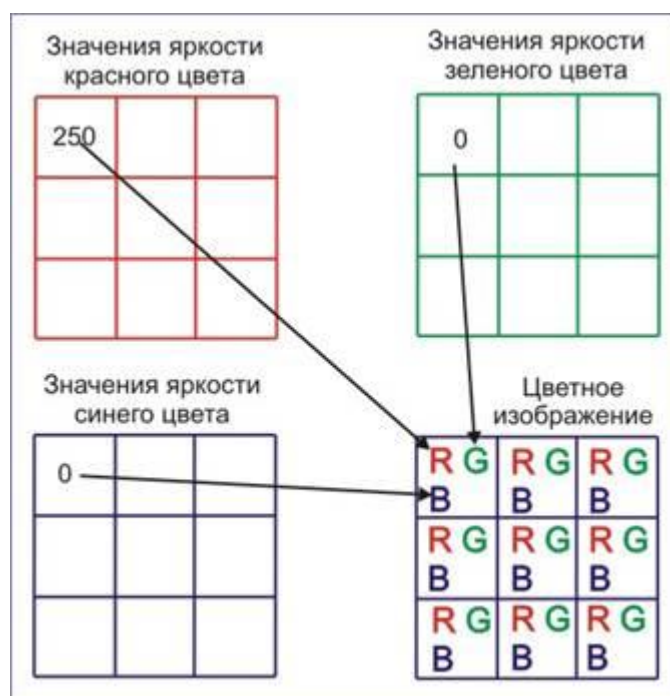


Рисунок 2 – Формирование цветного изображения

Практически любой цвет, видимый человеком, может быть представлен как сумма трех основных цветов.

Если значения яркости $R=250$, $G=0$, $B=0$, то пиксель будет окрашен в красный цвет.

Если значения яркости равны между собой $R=G=B$, пиксель будет окрашен в серый цвет.

Если значение яркости R , G , B не равны между собой то в зависимости от значений яркости R , G , B пиксел будет окрашен в определенный цвет.

Можно окрашивать изображения в натуральные и ложные цвета.

Если в каналы R , G , B изображения подставлены R , G , B каналы снимка, то изображение представлено в натуральных цветах. Если в каналы R , G , B изображения подставлены другие каналы снимка, то изображение представлено в ложных цветах.

Сущность объектов целесообразно определять на изображениях в натуральных цветах, а разделять и оконтурить объекты удобнее на изображениях в ложных цветах. Правильно подобранная шкала позволяет

оператору визуально выделять объекты, мало отличающиеся по яркости на полутоновом изображении.

3.2.2 Индексные изображения

Для получения индексного изображения, значение яркости каждого пиксела вычисляется путем применения арифметических операций над значениями яркости этого пиксела из разных каналов снимка.

При изучении объектов по многозональным снимкам часто важны не абсолютные значения, а характерные соотношения между значениями яркости объекта в различных спектральных зонах. На таких изображениях более ярко и контрастно выделяются искомые объекты по сравнению с исходным снимком.

Таблица 2 – Применение индексов изображения для решения различных задач

Название индекса	Формула	Применение
Индекс содержания оксида железа	Отношение значений яркости в красном (К) канале к значениям яркости в синем канале (С). K/C	Для выявления содержания окислов железа
Индекс содержания глинистых минералов	Отношение значений яркости в пределах среднего инфракрасного канала (СИК). $СИК1/СИК2$ СИК1 это диапазон от 1.55 до 1.75 мкм, СИК2 это диапазон от 2.08 до 2.35 мкм.	Для выявления содержания глинистых минералов
Индекс содержания железистых минералов	Отношение значения яркости в среднем инфракрасном (СИК1 см. выше) канале к значению яркости в ближнем инфракрасном канале (БИК). $СИК1/БИК$	Для выявления содержания железистых минералов
Индекс красноцветности (RI)	Основан на различии отражательной способности красноцветных минералов в красном (К) и зеленом (З) диапазонах. $RI=K-Z/K+Z$	Для выявления содержания оксида железа в почве.
Нормализованный дифференциальный	Хлорофилл листьев растений отражает излучение в ближнем инфракрасном (БИК) диапазоне электромагнитного	Показывает наличие и состояние растительности.

вегетационный индекс (NDVI)	спектра и поглощает в красном (К). Отношение значений яркости в этих двух каналах позволяет четко отделять и анализировать растительные от прочих природных объектов. $NDVI = (БИК - К) / (БИК + К)$	Значения NDVI варьируют в пределах от -1 до 1
Нормализованный дифференциальный индекс снега (NDSI)	NDSI – это относительная величина, характеризующая различием отражательной способности снега в красном (К) и коротковолновом инфракрасном (КИК) диапазонах. $NDSI = (К - КИК) / (К + КИК)$	Используется для выделения территорий, покрытых снегом. Для снега $NDSI > 0,4$.
Водный индекс (WI)	$WI = 0.90\text{мкм} / 0.97\text{мкм}$	Применяется для определения содержания воды в растительности по гиперспектральным снимкам.

3.2.3 Анализ главных компонент

Анализ главных компонент — это метод анализа многоспектральных коррелированных данных.

Понятие коррелированные данные означает, что при возрастании значения яркости пикселей в одном спектральном канале возрастают значения яркости и в других спектральных каналах.

На рисунке снизу показан пример двумерного пространства спектральных признаков, при возрастании значения в первом канале возрастает значение во втором, это означает высокую корреляцию между этими каналами.

Видно, что область распределения значений расположена под углом к осям графика, поэтому ни по одной из этих осей не отображается весь диапазон значений объекта. Это значит, что при синтезировании цветного изображения снимок будет обделен цветами. Например, все виды растительности будут изображены близкими неразличимыми оттенками

цвета. Такое расположение значений яркости характерно для большинства природных объектов (растительности, почв, горных пород).

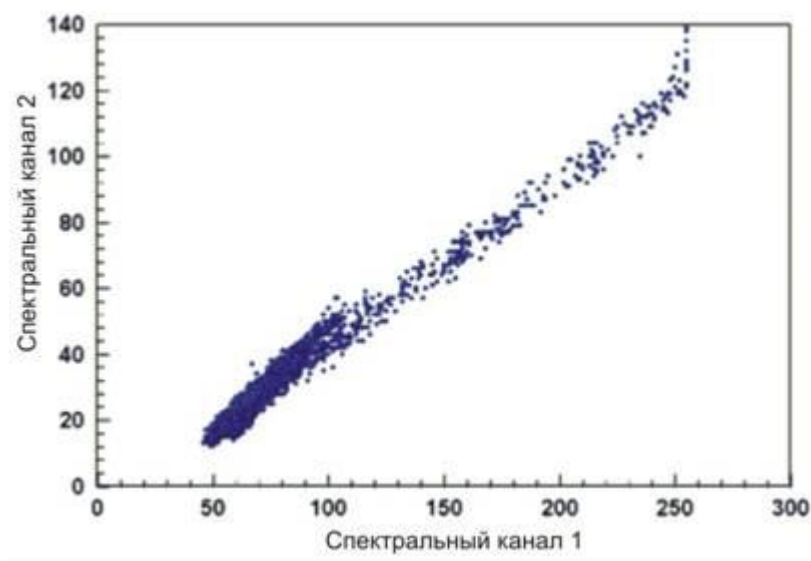


Рисунок 3 – Двумерное пространство спектральных признаков

Возможности анализа главных компонент:

- если снимок содержит более трех спектральных каналов, можно создать цветное изображение из трех главных компонент, поскольку в типичном многозональном изображении обычно первые два или три компонента способны описать практически всю изменчивость спектральных характеристик. Остальные компоненты чаще всего подвержены шумовым воздействиям. Отбрасывая эти компоненты можно уменьшить объем данных без заметной потери информации;
- если объекты малого размера и низкого контраста плохо дешифрируются на исходных снимках, часто хорошо выявляются на изображениях отдельных спектральных компонент;
- такое преобразование проводят для серии разновременных снимков, приведенных в единую систему координат, для выявления динамики, которая ярко проявляется в одной или двух компонентах.

3.2.3 Метод спектрального разделения

Один пиксел снимка может отображать от нескольких квадратных метров до тысяч квадратных метров поверхности Земли, и содержать информацию не об одном объекте, а о группе объектов, которые расположены на соответствующей территории.

Метод спектрального разделения применяют для распознавания на снимках объектов, размер которых значительно меньше размера пиксела.

Суть метода состоит в следующем: смешанные спектры анализируют, сравнивая их с известными чистыми спектрами, например, из спектральных библиотек чистых материалов. Происходит количественная оценка соотношения данного известного (чистого) спектра и примесей в спектре каждого пиксела. После выполнения такой оценки может быть получено изображение, раскрашенное так, что цвет пиксела будет означать, какой компонент преобладает в спектре этого пиксела.

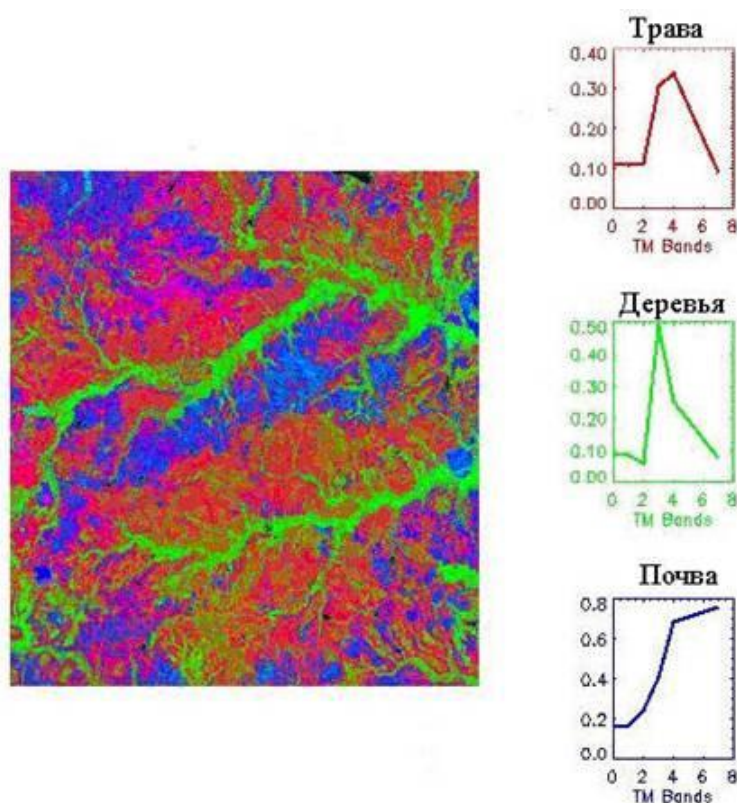


Рисунок 4 – Пример работы метода спектрального разделения

3.2.4 Классификации

Классификация — это компьютерное дешифрирование снимков или процесс автоматизированного подразделения всех пикселей снимка на группы (классы), которые соответствуют разным объектам.

Существуют разные виды классификаций:

- классификация с обучением;
- классификация без обучения.

Классификация с обучением — это процесс, при котором происходит сравнение значения яркости каждого пикселя с эталонами, в результате, каждый пиксел относится к наиболее подходящему классу объектов.

Классификацию с обучением можно применять, если:

- заранее известно, какие объекты есть на снимке;
- на снимке имеется небольшое количество (до 30) классов;
- эти классы четко различаются на снимке.

Процесс классификации с обучением включает в себя несколько этапов.

Этапы классификации с обучением:

- определение задач обработки снимка и выбор способа классификации;
- выбор эталонных участков;
- проведение классификации и оценка качества результатов.

Способ классификации, или правило, в соответствии с которым, будет осуществляться распределение пикселей изображения на классы:

- способ спектрального угла дает хорошие результаты, когда нужно провести классификацию для объектов, которые имеют схожие значения яркости;
- способ минимального расстояния применяют, когда области значения яркости объектов пересекаются;
- способ параллелепипедов применяют, когда области значения яркости объектов не пересекаются;

- способ максимального правдоподобия применяют в особенно сложных случаях, когда области значений яркости разных классов в пространстве признаков перекрываются и имеют сложную (или вытянутую) форму;

- способ расстояния Махаланобиса является более точным, по сравнению со способом минимального расстояния, поскольку учитывает распределение значений яркости обучающих выборок;

- бинарное кодирование применяют, если все пиксели на снимке нужно разделить на два класса.

Классификации без обучения — это процесс, при котором распределение пикселей изображения происходит автоматически, на основе анализа статистического распределения яркости пикселей.

Следует отметить, что перед началом классификации неизвестно сколько, и каких объектов есть на снимке, а после проведения классификации необходимо дешифрирование полученных классов, чтобы определить, каким объектам они соответствуют.

Таким образом, классификацию без обучения применяют в случае если:

- заранее неизвестно какие объекты есть на снимке;
- на снимке большое количество объектов (более 30) со сложными границами;

- также можно применять, как предварительный этап перед классификацией с обучением.

Наиболее распространенные методы классификации без обучения:

- ISODATA;
- К-Средних.

Метод классификации без обучения ISODATA (Итерационная самоорганизующаяся методика анализа данных - Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique).

ISODATA - это процесс, который основан на кластерном анализе. К одному классу относятся пиксели, значения яркости которых наиболее близки в пространстве спектральных признаков.

Этапы классификации ISODATA:

- расчет статистических параметров распределения яркостей всего снимка в каждой спектральной зоне (минимальное, максимальное, среднее значение, стандартное отклонение);
- все пиксели снимка делятся на n равных диапазонов в пространстве спектральных признаков, для каждого из них определяется среднее значение;
- первая итерация кластеризации, то есть в пространстве спектральных признаков для каждого пиксела рассчитывается спектральное расстояние до средних значений, и каждый пиксел относят в определенный кластер. В один кластер попадают те пиксели, между которыми меньше расстояния в пространстве спектральных признаков;
- расчет реальных средних значений для полученных классов;
- следующая итерация с новыми значениями средних, и уточнение границ классов, при этом число классов может меняться.

Процесс продолжается до тех пор, пока не будет достигнуто максимальное (заранее установленное) количество итераций или достигнут максимальный процент пикселей, не изменивших свой класс во время последней итерации (этот параметр тоже задается заранее).

Метод классификации без обучения К-Средних отличается от метода ISODATA тем, что требует изначального задания некоторого количества средних значений для формирования начальных классов, следовательно, этот метод используют, когда объекты на снимке достаточно хорошо различаются.

4 Анализ снимков Landsat 8 OLI для дешифрирования повреждений лесного покрова сибирским шелкопрядом

4.1 Предварительная обработка снимков

Данные, предоставляемые геологической службой США (USGS) поставляют в виде отдельных слоев каждого канала спутника Landsat 8 OLI в формате GeoTIFF.

Для выполнения работы необходимо составить мультиспектральное изображение, для этого используя встроенный инструментарий ArcToolBox выбрать инструменты для работы с данными Data Management Tools, далее из списка функций выбрать Create Raster Catalog.

Для достижения поставленных задач использовались каналы 6-5-4, соответствующие среднему ИК, ближнему ИК и красному видимому диапазону.

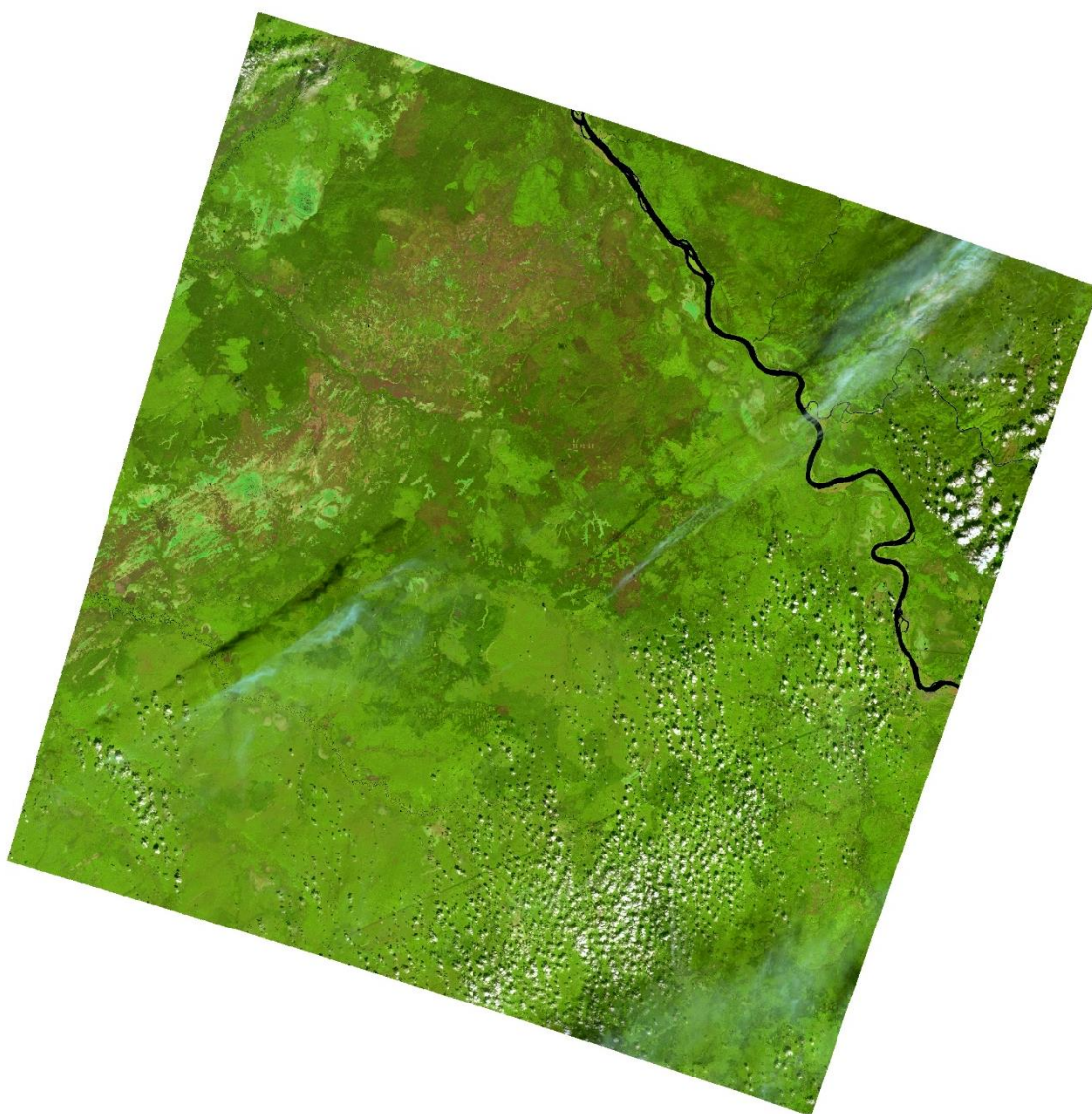


Рисунок 5 – Мультиспектральное изображение с расстановкой каналов 6-5-4

4.2 Тематическая обработка снимков

Одним из способов отображения информации в ArcGIS является метод растяжки, который включает в себя:

- ESRI - анализируется статистика и гистограмма, затем применяется модифицированная сигмовидная растяжка. Для поиска среднего используется S-образная кривая, что позволяет не растягивать значения пикселей до экстремумов. Этот метод используется для качественной общей растяжки изображения;

- по гистограмме - применяется растяжка контраста по гистограмме. Этот метод хорошо подходит для большого числа плотно сгруппированных значений пикселей;

- минимум-максимум - минимальные и максимальные значения вычисленной статистики будут использоваться как минимальные и максимальные значения цветовой шкалы, значения между ними будут интерполироваться линейно;

- процент отсечения - Растяжка применяется без использования экстремально высоких и низких процентов значений. Необходимо указать экстремально высокий и низкий процент значений для исключения их из растяжки. Допустимые значения минимума и максимума находятся в диапазоне от 0 до 100;

- среднее квадратичное отклонение - применяется растяжка по стандартному отклонению. Вы также можете указать значение n для числа используемых стандартных отклонений. Этот метод используется для определения числа значений объекта, отличающихся от среднего; лучше всего подходит для данных с нормальным распределением.

4.2 Использование нормализованного относительного индекса растительности NDVI для выделения поврежденных лесов

Для анализа и выявления здоровой растительности от увядающих растений и земли широко используется такой индикатор, как нормализованный относительный индекс растительности (NDVI). В формулу для расчета NDVI заложено отличие отражательной способности света в ближнем инфракрасном и видимым красным:

$$NDVI=(NIR-RED)/(NIR+RED)$$

Индекс может принимать значения от -1 до 1 . Для зеленой растительности обычны значения от 0.2 до 0.8 . Непосредственно выявление повреждений основано на визуальном анализе межгодовых разностей индексов изображений и подборе пороговых значений для выделения значимых изменений.

Участки повреждения насекомыми близки по спектрально-отражательным свойствам к гарям и вырубкам, поэтому помимо спектральных свойств в качестве дополнительных признаков для классификации повреждений возможно использование вспомогательных сведений о рельефе, планах лесонасаждений и пожарах.

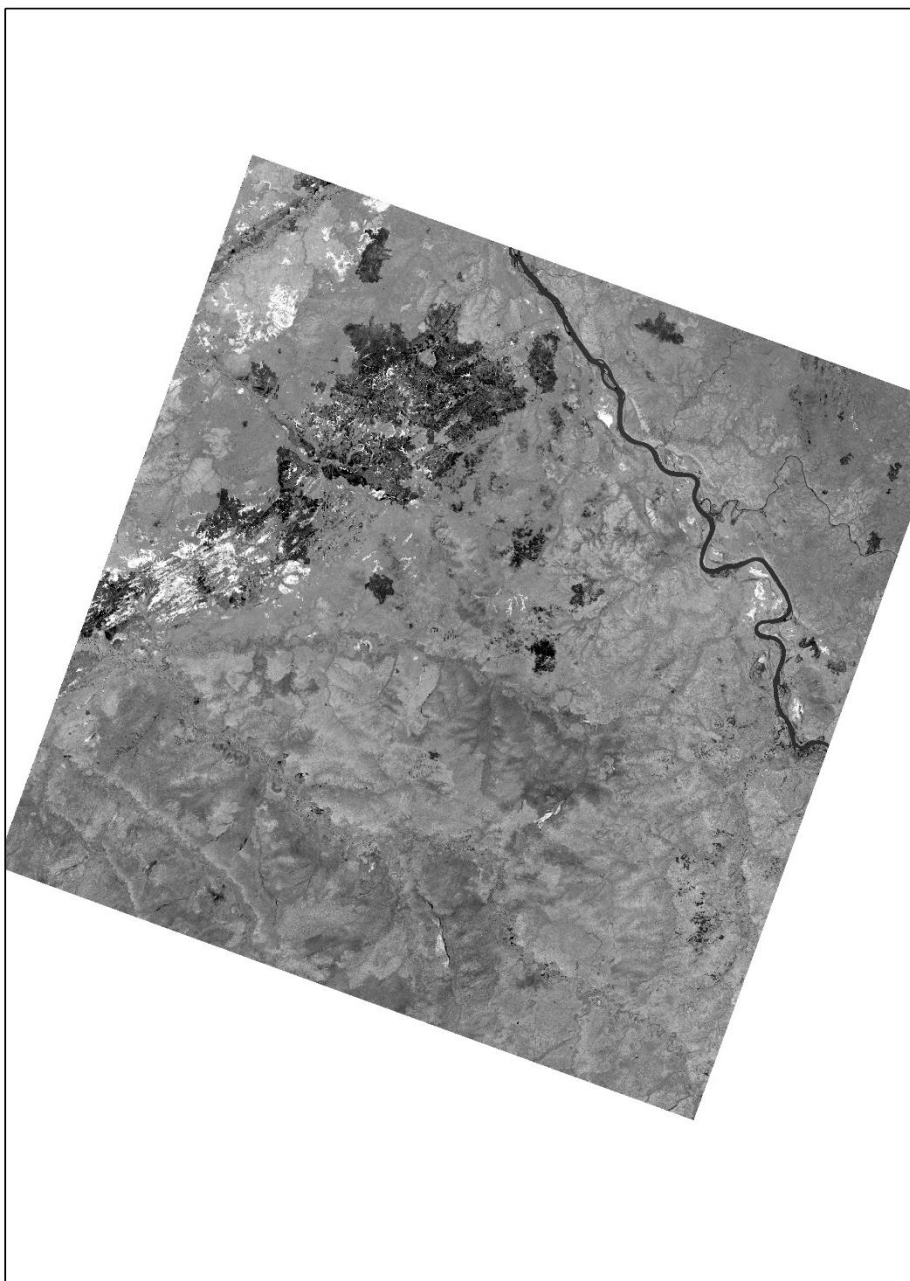


Рисунок 6 – Рассчитанный NDVI для сцены Landsat 8 OLI в 2015 г.

Так как значения зеленой растительности индекса NDVI от 0,2 до 0,8, следовательно, значения меньше 0,2 - это либо гари, либо усохшие деревья, либо съеденные насекомыми-вредителями.

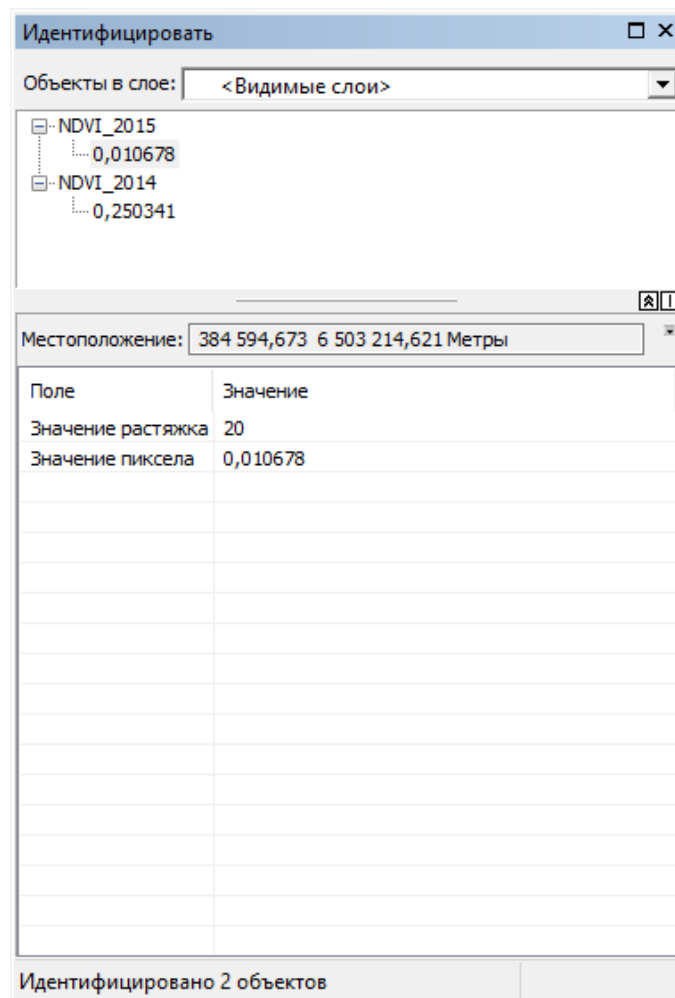


Рисунок 7 – Сравнения значений индекса NDVI до вспышки в 2014 и во время вспышки в 2015 на одной и той же территории

Для того, чтобы увидеть повреждения сибирским шелкопрядом, необходимо произвести разность двух полученных индексов NDVI: от индекса до вспышки (2014 г.) отнять индекс во время вспышки сибирского шелкопряда (2015 г.). Полученные значения NDVI от 0,2 до 0,4 будут свидетельствовать о значительном изменении в растительном покрове. Эти пороговые значения установлены в результате анализа большого количества значений пикселей в точках, соответствующих повреждению леса сибирским шелкопрядом по результатам полевых исследований.

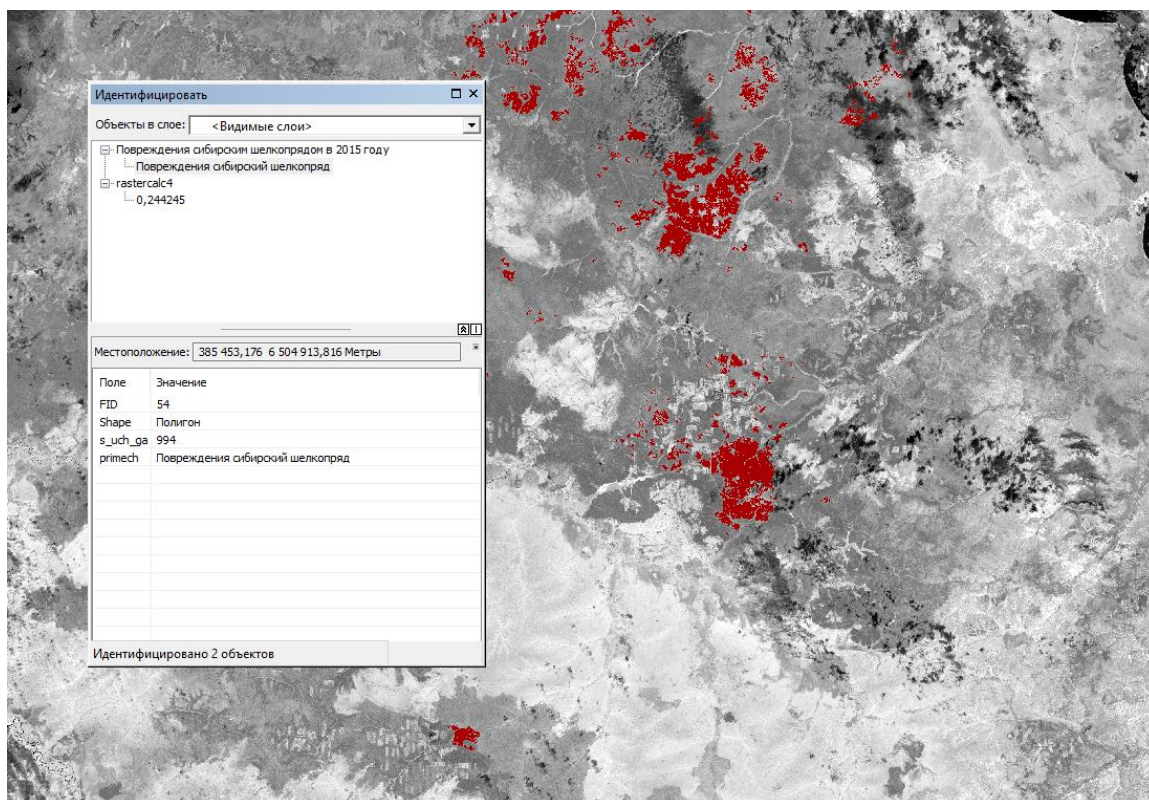


Рисунок 8 – Значение индекса NDVI на месте повреждения лесного покрова

Следующим шагом необходимо произвести классификацию полученного изображения с уникальными значениями, которые сильно изменились после разности NDVI, затем выполняется реклассификация полученных классов, оставляя только необходимый с повреждением.

Последним этапом выделения очагов сибирского шелкопряда является перевод полученного класса повреждения в shape-файл для оценки площадей и дальнейшей работы с ним.

5 Анализ результатов обработки снимков

В результате проведенных действий были сделаны 3 карты повреждения лесного покрова сибирским шелкопрядом:

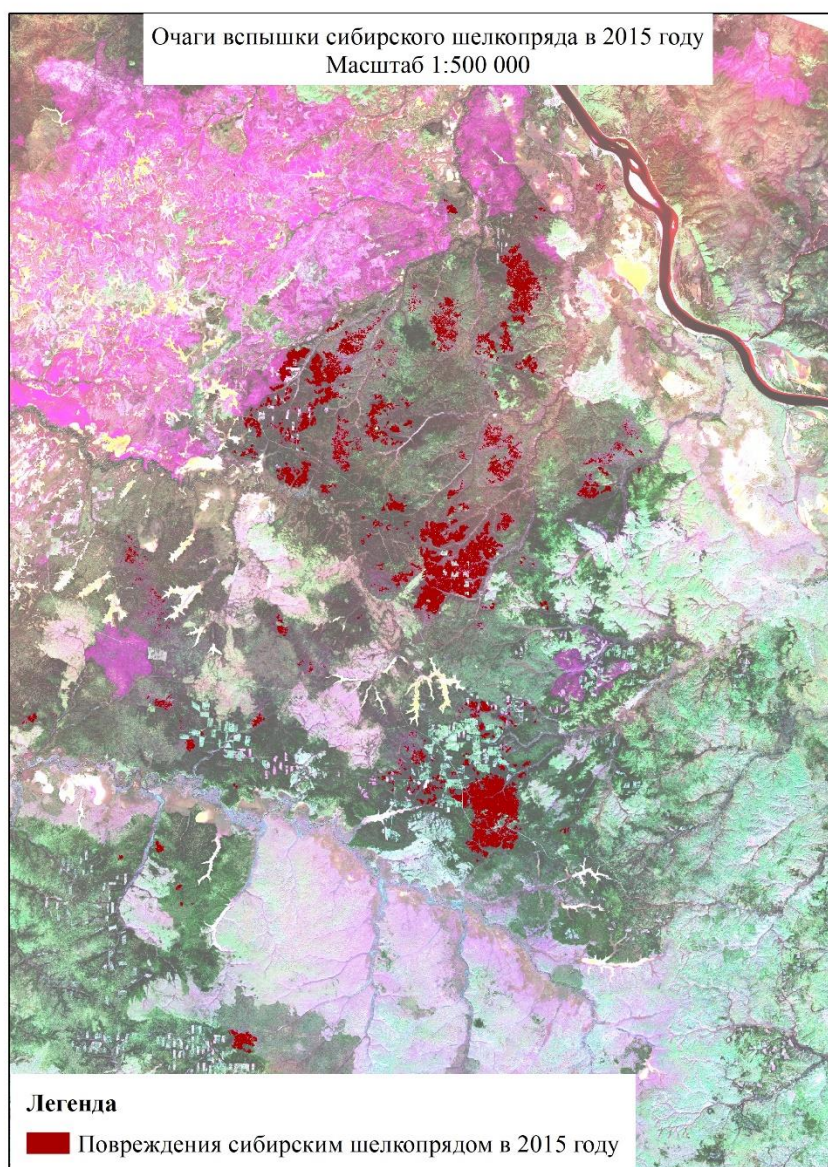


Рисунок 9 – Поврежденные сибирским шелкопрядом леса в 2015 году

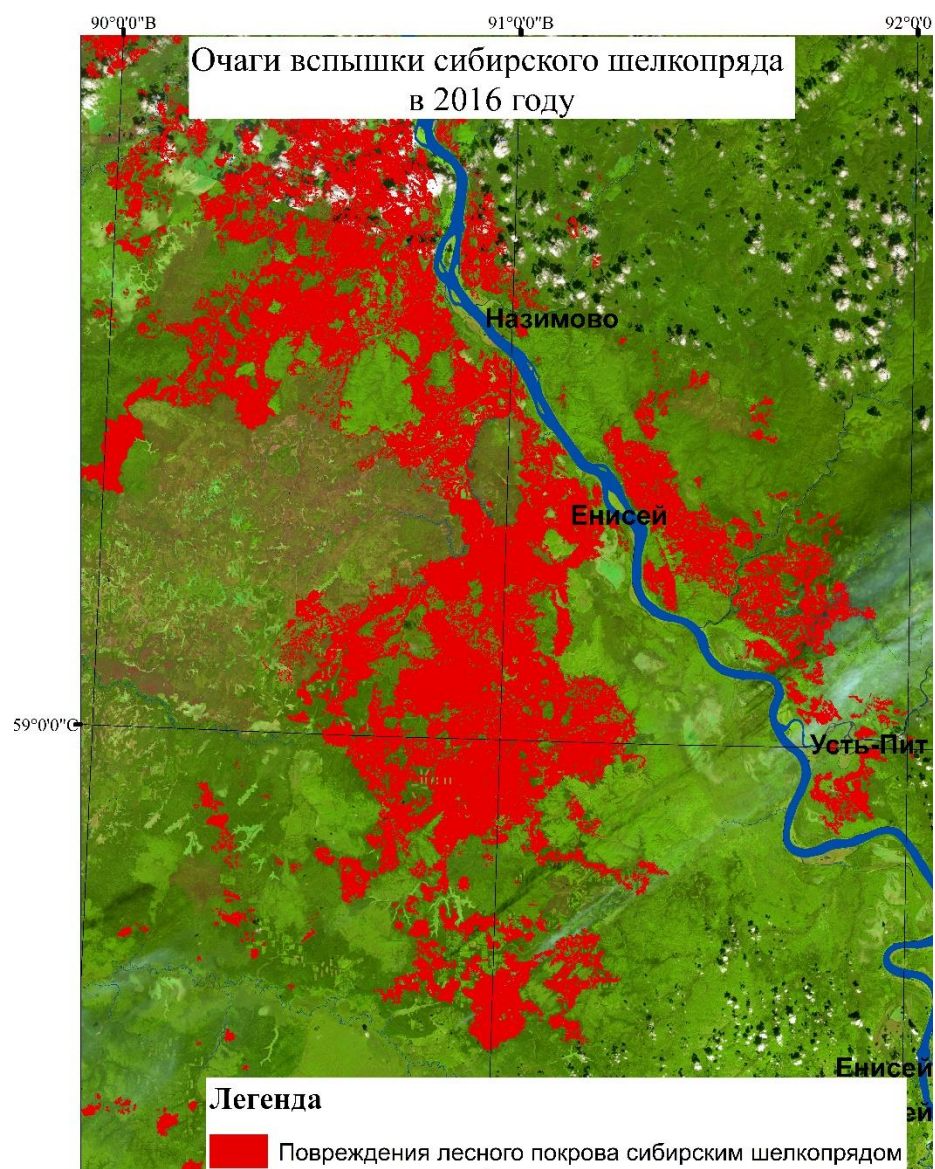


Рисунок 10 – Поврежденные сибирским шелкопрядом леса в 2016 году

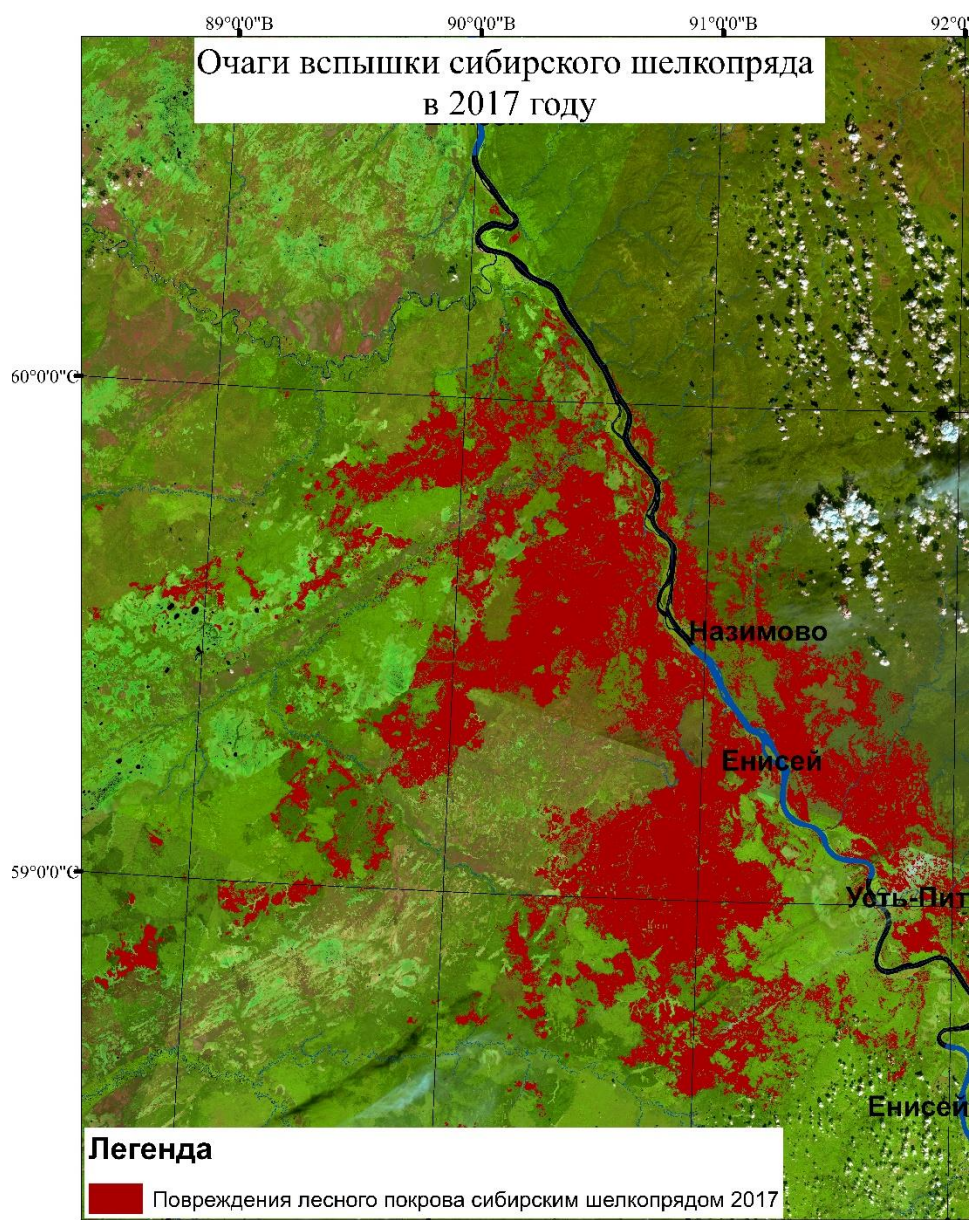


Рисунок 11 – Поврежденные сибирским шелкопрядом леса в 2017 году

Судя по полученным данным, вспышка сибирского шелкопряда началась в Енисейском районе и продолжает своё расширение вдоль реки Енисей. Также можно увидеть, что сибирский шелкопряд перебрался на правый берег Енисея. Значительное расширение очагов шелкопряда произошло и в восточном направлении, на территорию Томской области.

5.1 Динамика площадей поврежденных лесов

Вред, наносимый сибирским шелкопрядом, часто приравнивают к лесным пожарам. Вредитель приводит к полной гибели хвойных деревьев на сотнях тысяч гектаров.

Проанализировав площадь повреждения, можно сделать вывод, что это актуальная проблема, которая требует немедленного проведения мер по локализации и ликвидации очагов массового размножения сибирского шелкопряда.



Рисунок 12 – Динамика изменения площадей повреждения лесного покрова

В 2015 году площадь повреждений составила около 21 тысячи га, а уже в 2016 году составила около 332 тысячи га, что в 15 раз больше, чем в предыдущем. В 2017 году площадь составила 732700 га.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы были проанализированы материалы и методы обработки данных дистанционного зондирования Земли для детектирования повреждений лесного покрова сибирским шелкопрядом. Получены разновременные данные прибора Landsat 8 OLI и подготовлены мультиспектральные изображения для дальнейшего детектирования очагов повреждения лесного покрова сибирским шелкопрядом.

В результате работы применен метод дешифрирования с использованием вегетационного индекса нормированной разности NDVI. Подготовлены ежегодные тематические карты повреждённого лесного покрова сибирским шелкопрядом за период вспышки с 2015 по 2017 год. Произведена оценка площадей повреждений лесного покрова сибирским шелкопрядом.

Динамика изменения площадей поражения лесного покрова сибирским шелкопрядом отображена на гистограмме.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Королева Н. В. Разработка и исследование методов и алгоритмов обработки космических снимков с целью оценки степени повреждения лесов [Электронный Ресурс] : Ульяновский государственный университет. – Режим доступа: [http://www.ulsu.ru/media/uploads/ulgmna%40rambler.ru/2018/03/22/Курсовая%20Кечаев%20А.А.%20\(2017\).pdf](http://www.ulsu.ru/media/uploads/ulgmna%40rambler.ru/2018/03/22/Курсовая%20Кечаев%20А.А.%20(2017).pdf)

2 Баранчиков Ю.Н., Кондаков Ю.П., Корец М.А., Краснопеев С.М., Кривец С.А., Макфадден М., Турова Г.И., Юрченко Г.И. Система мониторинга популяций сибирского шелкопряда результат проекта USAID «Лесные ресурсы и технологии» (Форест) // Интерэкспо ГеоСибирь. – 2005. –№1. –Т.3.

3 Им С.Т. Пространственно-временная динамика вспышки массового размножения сибирского шелкопряда в Енисейском районе Красноярского края [Электронный Ресурс] : Материалы IV Международной научной конференции Красноярск, 12–15 сентября 2017 г.

4 Сайт Геологической службы США [Электронный ресурс] : USGS. Landsat Missions. Landsat8. - Режим доступа: <http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>.

5 Леонтьев Д.Ф. Распространение и прогнозирование численности сибирского шелкопряда [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_24927555_14863870.pdf

6 Материалы всероссийской научно-практической конференции - Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций. [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://sibpsa.ru/science/publications/06-2013.pdf>

7 Скворцов А.В. ГЕО-информатика: Учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского университета, 2006 – 336с

8 Коломиец Н.Г. Паразиты и хищники сибирского шелкопряда. – Новосибирск: СО АН СССР, 1962. –174 с.

9 Баранчиков, Ю.Н. Система мониторинга популяций сибирского шелкопряда результат проекта USAID «Лесные ресурсы и технологии» (Форест) / Кондаков Ю.П., Корец М.А., Краснопеев С.М., Кривец С.А., Макфадден М., Турова Г.И., Юрченко Г.И. Интерэкспо Геосибирь. – 2005. – №1. –Т.3.

10 Кондаков Ю.П. Закономерности массовых размножений сибирского шелкопряда// Экология популяций лесных животных Сибири. – Новосибирск: Наука, 1974. – С. 206-265.

11 Федотова Е.В. Анализ пространственной приуроченности очагов повреждения таежных лесов сибирским шелкопрядом по данным мелкомасштабного дистанционного зондирования / Е.В. Федотова, С.Т. Им, Харук В.И. 2007 г.

12 Харук В.И., Съемка NOAA/AVHRR в мониторинге вспышек сибирского шелкопряда // Исследование Земли из космоса / Коэгсуховская А.Г., Пестунов И.А., Рансон К.Дж., Цибульский Г.М. 2001. №1. С. 80-86

13 Fraser R.H., Latifovic R. Mapping insect-induced tree defoliation and mortality using coarse spatial resolution satellite imagery // International Journal of Remote Sensing, 2005, Vol. 26, No. 1, pp. 193-200.

14 Барталев С. А., Жиринов В.М., Ершов Д.В. Сравнительный анализ данных спутниковых систем Космос-1939, SPOT и Landsat-TM при изучении бореальных лесов // Исследование Земли из космоса, 1995. №1. С. 101–114.

15 Харук В.И., Рэнсон К. Дж., Кузьмичев В.В., Буренина Т.А., Тихомиров А.Ю., Им С.Т. Съемка "Landsat" в анализе шелкопрядников Южной Сибири // Исследование Земли из космоса, 2002, № 4, С. 79-90.

16 Stover O., Delb H., Engels F., Hill J. and Atzberger C. An Assessment of Forest Areas Damaged by a Gypsy Moth Infestation through Satellite Remote Sensing and GIS // International Workshop Application of remote sensing in European forest monitoring, Luxemburg, 1998, pp. 359-372.

17 Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. — Москва, Издательство А и Б, 1997. - 296 с.

18 Спутниковые данные [Электронный ресурс] // Компания «СОВЗОНД» - Режим доступа: <http://www.sovzond.ru/satellites/>

19 Группа «MapExpert» [Электронный ресурс] // - Режим доступа : http://mapexpert.com.ua/index_ru.php?id=26&table=Menu